



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH MINIATURNÍCH SOUSTRUŽNICKÝCH NOŽŮ S VBD

CONSTRUCTION OF MINIATURE TURNING TOOLS WITH INSERT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Balhar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **David Balhar**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh miniaturních soustružnických nožů s VBD

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Součástí práce je jak řešení miniaturních soustružnických nástrojů, tak volba vzorového typu a konstrukce sady miniaturních soustružnických nožů (s průřezem stopky do 8x8mm).

Cíle bakalářské práce:

1. řešení problematiky
2. volba vyráběných typů
3. konstrukce zvolených soustružnických nožů
4. technicko ekonomické zhodnocení a doporučení autora

Seznam literatury:

- HUMÁR, A. (1995): Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. Brno: CCB. ISBN 80-85825-10-4.
- DAVIM, J. P. (2010): Surface Integrity in Machining. 1. London: Springer. ISBN 978-1-84882-873-5.
- ZEMČÍK, O. (2003): Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: CERM. ISBN 80-214-2336-6.
- Moaveni, S. (2008): Finite element analysis: theory and application with ANSYS. 3rd ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, xv, Pearson education international. ISBN 978-0-13-241651-1.
- GROTE, K.-H. and Antonsson E. K (2008): Springer handbook of mechanical engineering. 1st ed. New York: Springer, p. cm. ISBN 978-354-0491-316.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavním cílem této bakalářské práce je navrhnout sadu miniaturních soustružnických nožů s VBD. Vypracování je rozděleno do čtyř kapitol. V první kapitole je provedena rešerše problematiky konstruování soustružnických nožů. V druhé kapitole se objevuje přehled vyráběných miniaturních typů a jejich použití. Nejdůležitější je však třetí kapitola, protože se zabývá hlavním výstupem, a to samotným návrhem zvolených typů soustružnických nožů. Byly zvoleny tři soustružnické nože, které jsou ve čtvrté kapitole zhodnoceny jak technicky, tak ekonomicky.

Klíčová slova

soustružení, soustružnický nástroj, zapichovací nástroj, vyměnitelná břitová destička, geometrie soustružnického nástroje

ABSTRACT

The main aim of this bachelor thesis is to design a set of miniature turning tools with insert. Elaboration is divided into four chapters. In the first chapter we can find research, which deals with the issue of the construction of turning tools. In the second chapter appears survey produced miniature types and their uses. The most important is the third chapter, because it deals with the main output, and the actual design of selected types of turning tools. The three of turning knives were selected, which are reviewed in the fourth chapter, both technically and economically.

Key words

turning, turning tool, grooving tool, insert, geometry of turning tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BALHAR, David. *Návrh miniaturních soustružnických nožů s VBD*. Brno 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 48 s. 9 příloh. Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh miniaturních soustružnických nožů s VBD** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

23.5.2016

Datum

David Balhar

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Oskaru Zemčíkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 SOUSTRUŽNICKÉ NOŽE	9
1.1 Základní pojmy	9
1.1.1 Popis nástroje.....	9
1.1.2 Nástrojové roviny a nástrojové úhly	10
1.2 Rozdělení soustružnických nožů	14
1.3 Nástrojové materiály	15
1.4 Systémy upínání VBD	20
2 MINIATURNÍ SOUSTRUŽNICKÉ NOŽE.....	23
2.1 Celokarbidové vnitřní miniaturní soustružnické nože	23
2.2 Vnitřní miniaturní soustružnické nože s VBD.....	25
2.3 Vnější soustružnické nože s VBD	27
3 KONSTRUKCE SOUSTRUŽNICKÝCH NOŽŮ.....	28
3.1 Univerzální soustružnický nůž pro hrubování	28
3.2 Soustružnický nůž pro dokončování.....	30
3.3 Zapichovací soustružnický nůž.....	31
4 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	33
4.1 Technické zhodnocení	33
4.2 Ekonomické zhodnocení.....	36
ZÁVĚR	42
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	43
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	45
SEZNAM PŘÍLOH.....	48

ÚVOD

Soustružení je jeden z nejstarších způsobů třískového obrábění a doposud je nejpoužívanější. Proto je stále větší snaha zlepšovat a vymýšlet nové možnosti tohoto odvětví výrobních technologií. Soustružení je technologie, při které se odebírá materiál formou třísky. Obrábí se tak válcové plochy jak vnější, tak vnitřní. Proces soustružení je vykonáván pomocí soustavy stroj-nástroj-obrobek-přípravek. Tato bakalářská práce se zaměřuje na konstrukci a výrobu nástrojů (soustružnických nožů).

V současnosti mají největší využití soustružnické nože s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD), a proto jsou na ně kladeny vysoké požadavky a je snaha je stále vylepšovat a dělat speciální typy pro různé aplikace. Důležitá je životnost nástrojů, univerzálnost a náklady na výrobu nástroje, aby byla výsledná cena co nejnižší. Vysoké životnosti je možno dosáhnout pomocí nejmodernějších výrobních technologií a nejnovějších materiálů.

Tato práce se zabývá návrhem miniaturních soustružnických nožů s VBD a jejich využitím. Rozměry stopky takových nástrojů se pohybuje okolo 8x8 mm a méně. Nejčastější použití takových soustružnických nožů je v dílnách určených pro modelářskou činnost. Stroje pro takové použití bývají také speciální a nazývají se modelářské. Pro takové stroje jsou typické velice malé rozměry, vysoká přesnost a nízká hlučnost chodu stroje.

Je zvolen návrh sady základních a nejpoužívanějších třech typů. Jde o hrubovací, dokončovací a zapichovací soustružnický nůž.

1 SOUSTRUŽNICKÉ NOŽE

Soustružnické nože jsou nástroje, které se používají k obrábění válcových ploch (vnějších, nebo vnitřních).

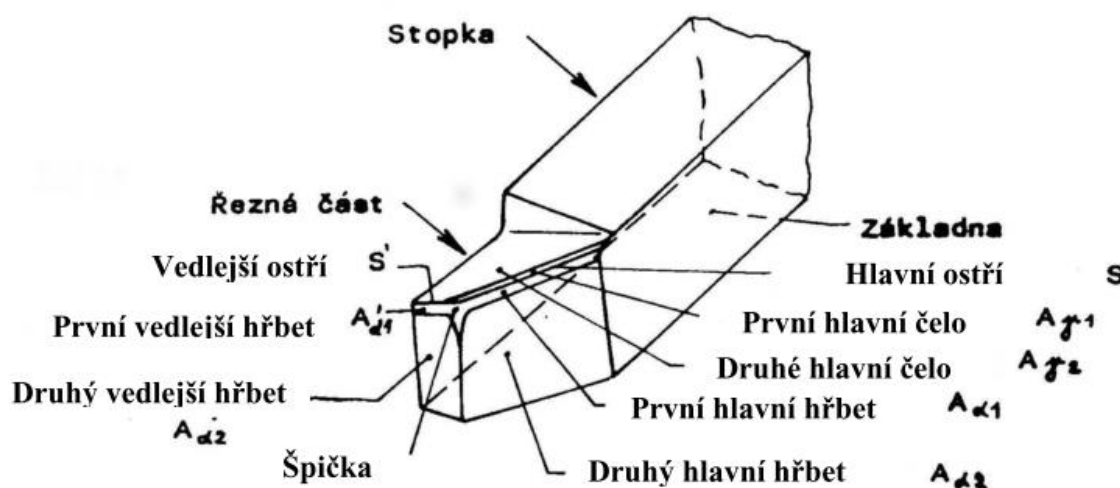
K úspěšné konstrukci soustružnického nože je potřeba se nejprve seznámit se základními pojmy a provést základní rozdělení těchto nástrojů.

1.1 Základní pojmy

Každý nástroj má své prvky, které jsou jednoznačně pojmenovány. Dále se rozlišuje šest pracovních rovin, ve kterých leží odpovídající nástrojové úhly, které jsou důležité pro konstrukci každého nástroje a určují geometrii břitu. Je to úhel čela (γ), břitu (β) a hřbetu (α).

1.1.1 Popis nástroje

Pro lepší orientaci bylo zavedeno jednoznačné názvosloví. Prvky nástroje jsou zobrazeny obr. 1 [1, 2].



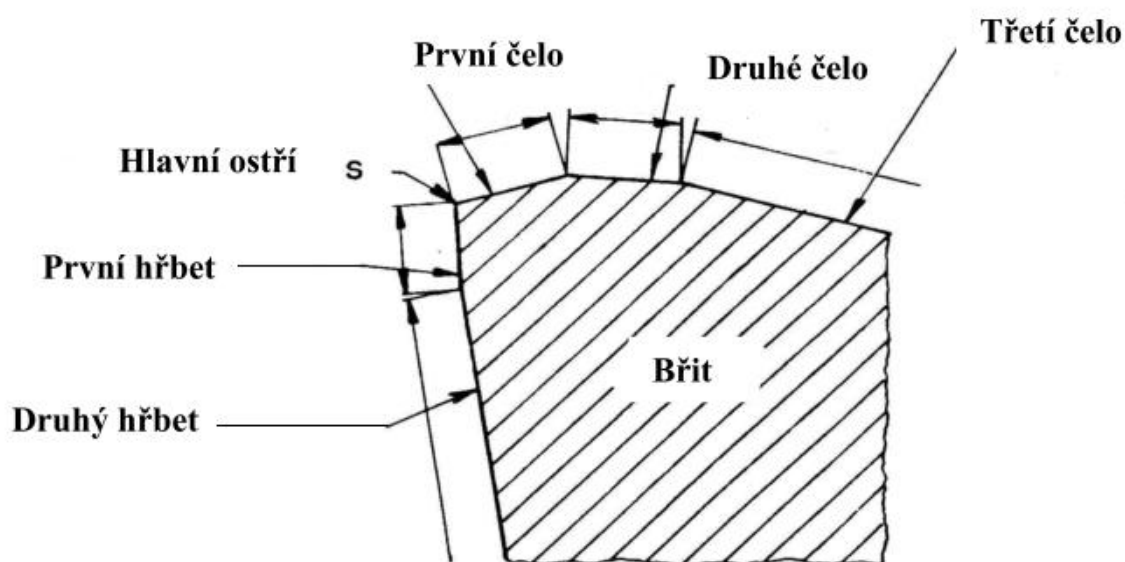
Obr. 1 Základní části soustružnického nože [1].

Význam jednotlivých prvků je uveden v tab. 1.

Tab. 1 Prvky soustružnického nože [1, 2].

Těleso	část nástroje, na kterém jsou bezprostředně vytvořeny (upevněny) prvky ostří
Stopka	část nástroje určená na upnutí do stroje
Upínací díra	vnitřní plochy tělesa nástroje určené na nastavení a upnutí do stroje
Osa nástroje	teoretická přímka s definovaným geometrickým vztahem k stanovenému povrchu; obecně je osa nástroje středová čára stopky nástroje nebo upínací

	díry nástroje; většinou je rovnoběžná, nebo kolmá k stanovenému povrchu; v případě nejjasnosti je určena konstruktérem nástroje
Řezná část	funkční část nástroje; obsahuje prvky vytvářející třísku: ostří, čelo, a hřbet
Základna	plochý povrch na stopce, který je rovnoběžný, nebo kolmý k základní rovině nástroje; slouží k upínání, orientaci při výrobě a kontrole, nebo ostření; ne všechny nástroje mají definovanou základnu
Břit	část řezné části ohraničené čelem a hřbetem nástroje; může být spojen s hlavním i vedlejším ostřím
Čelo (A_r)	plocha, nebo souhrn ploch, po kterých odchází tříska (viz. obr. 2)



Obr. 2 Řez břitem s členěním základních ploch na čele a hřbetu [1].

1.1.2 Nástrojové roviny a nástrojové úhly

Rozlišuje se 6 základních rovin, které udávají nástrojovou souřadnicovou soustavu. Každá z těchto rovin prochází stejným uvažovaným bodem, který se vyskytuje na ostří.

Značení a popis nástrojových rovin [1, 2]:

Nástrojová základní rovina P_r - je rovnoběžná s podložkou nástroje.

Nástrojová boční rovina P_f - je kolmá na základní rovinu a všeobecně je orientována ve směru posuvu nástroje.

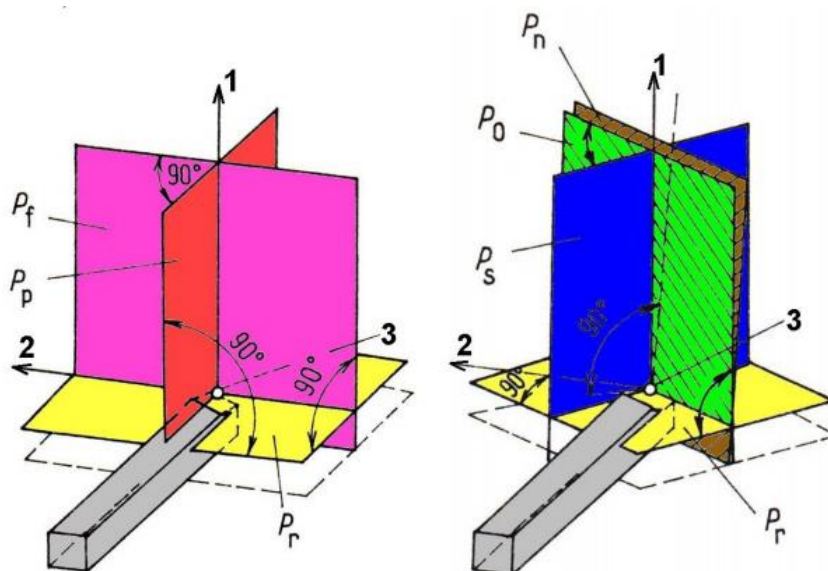
Nástrojová zadní rovina P_p - je kolmá jak na základní rovinu, tak na boční rovinu.

Nástrojová rovina ostří P_s - je tečná k ostří a kolmá na základní rovinu.

Nástrojová ortogonální rovina P_o - je kolmá na základní rovinu a na rovinu ostří.

Normálová rovina ostří P_n - je kolmá na ostří. Jako jediná není kolmá na základní rovinu (je kolmá pouze v případě, že nástrojový úhel sklonu hlavního ostří $\lambda_s = 0$).

Zmíněné roviny jsou vyobrazeny na obr. 3.



Obr. 3 Nástrojová souřadnicová soustava [2]: 1) směr hlavního pohybu, 2) směr posuvu, 3) uvažovaný bod ostří.

Značení a popis nástrojových úhlů

V každé rovině se na soustružnickém noži vyskytují tři nástrojové úhly, které jednoznačně určují geometrii břitu (úhel čela γ , břitu β , hřbetu α).

Nástrojové úhly se značí odpovídajícím řeckým písmenem a dolním indexem, který určuje, v které rovině se nachází (např.: γ_o - úhel čela v nástrojové ortogonální rovině) [1, 2].

Další důležité úhly:

χ_r úhel nastavení hlavního ostří - je to úhel mezi rovinami P_s a P_f měřený v základní rovině.

ε_r úhel špičky - je to úhel mezi rovinami P_s a $P_{s'}$ měřený v základní rovině.

$\chi_{r'}$ úhel nastavení vedlejšího ostří - je to úhel mezi rovinami $P_{s'}$ a P_f měřený v základní rovině.

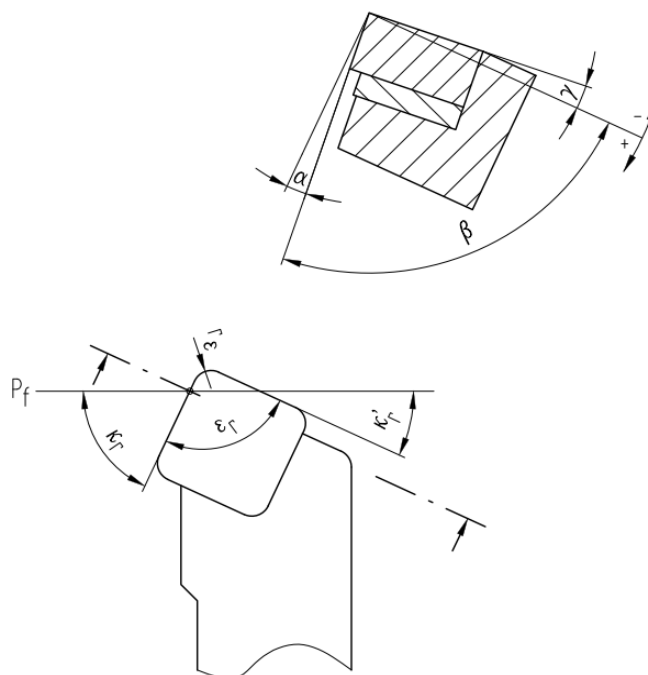
Úhel hřbetu α nesmí nikdy nabývat záporných hodnot, protože by nebylo možné takto zkonstruovaným soustružnickým nožem vůbec obrábět. Úhel hřbetu γ naopak může nabývat i záporných hodnot a tím přidělíme břitu negativní, nebo pozitivní geometrii ($+\gamma$ - pozitivní geometrie ; $-\gamma$ - negativní geometrie).

Pro tyto úhly platí vztahy:

$$\gamma + \beta + \alpha = 90^\circ \quad (1.1)$$

$$\chi_r + \varepsilon_r + \chi_r' = 180^\circ \quad (1.2)$$

Pro lepší představu jsou výše zmíněné úhly nakresleny na obr. 4. V obrázku je uveden i rádius špičky r_ε , což je další důležitý parametr, který ovlivňuje možnosti nástroje.



Obr. 4 Nástrojové úhly [3].

Běžné hodnoty parametrů používané při konstrukci nástroje pro obrábění oceli jsou uvedené v tab. 2.

Tab. 2 Nástrojové úhly a rádius špičky [3, 4, 15].

Řezný materiál	Úhel čela	Úhel hřbetu	Úhel nastavení hlavního ostří	Úhel špičky	Rádius špičky
	$\gamma [^\circ]$	$\alpha [^\circ]$	$\chi [^\circ]$	$\varepsilon_r [^\circ]$	$r_\varepsilon [\text{mm}]$
Rychlořezná ocel	-20° až +6°	6° až 8°	15° až 100°	-	-
Slinutý karbid	-15° až +6°	6° až 8°	10° až 100°	35° až 120°	0,2 až 2 mm
Řezná keramika	0° až +6°	6° až 8°	45° až 100°	-	0,8 až 2 mm

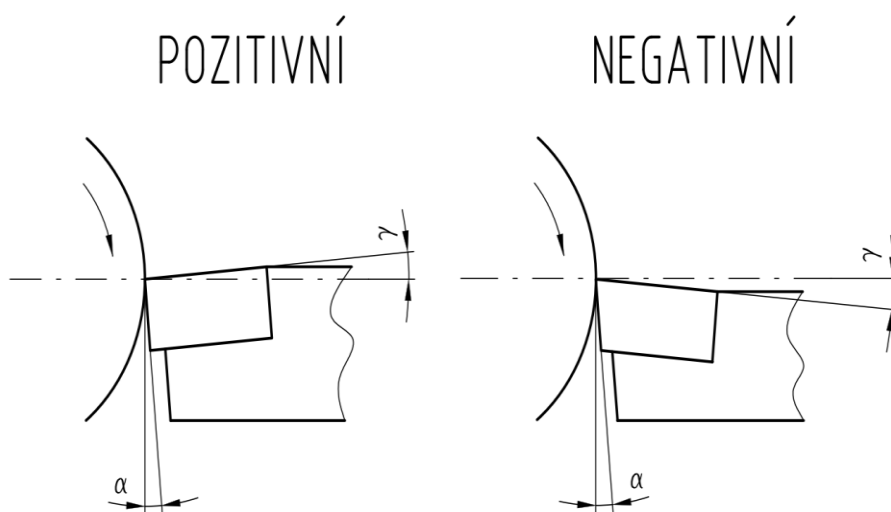
Jak je výše uvedeno, že může být geometrie nástroje pozitivní, nebo negativní, dojde se k těmto charakteristikám (viz. tab. 3):

Tab. 3 Charakteristika pozitivní a negativní geometrie nástroje [5].

Charakteristika	Pozitivní geometrie	Negativní geometrie
Řezná síla	nižší	vyšší
Vzniklé teplo	nižší	vyšší
Odvod třísek	lepší	horší
Pevnost nástroje	nízká	vysoká

Z těchto charakteristik jednotlivých geometrií lze vyvodit, že pozitivní geometrie bude použita pro dokončovací operace a negativní geometrie pro hrubování povrchu.

Na obr. 5 jsou znázorněny obě možné orientace geometrie:



Obr. 5 Pozitivní a negativní geometrie výměnné břitové destičky [6].

Dále závisí také na tvaru řezné hrany. Existují tři základní typy řezné hrany. Je to ostrá, zaoblená a zkosená. Ostrá řezná hrana nám sice dává nízké řezné síly, ale je zde nebezpečí vylamování břitu a tím zkrácení životnosti nástroje [5].

1.2 Rozdělení soustružnických nožů

Soustružení se může rozdělit z několika hledisek, a podle toho také soustružnické nože, pomocí kterých dané operace provádíme [1, 7].

Základní rozdělení je považováno podle plochy, kterou soustružíme:

- vnější,
- vnitřní.

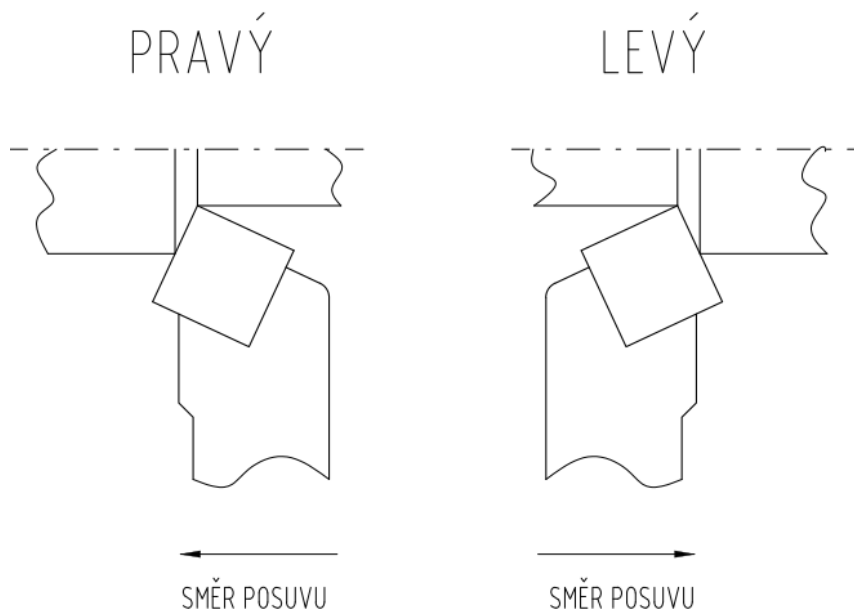
Další rozdělení:

Podle způsobu výroby daného nástroje:

- celistvé,
- s přivařenou, připájenou, nebo přilepenou břitovou destičkou,
- s mechanicky upnutou VBD.

Podle polohy ostří vůči ose soustružnického nože (viz. obr. 6):

- pravé,
- levé.

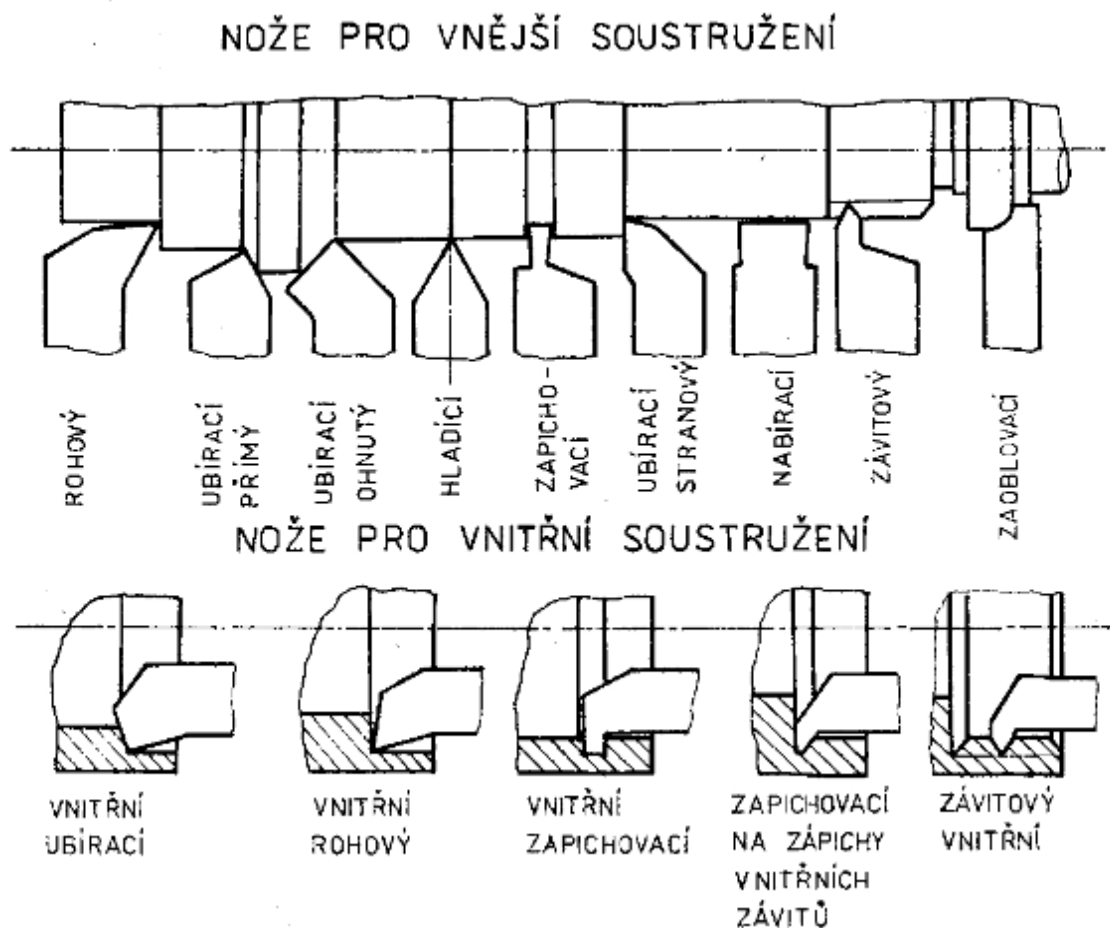


Obr. 6 Pravý a levý soustružnický nůž [1].

Podle průřezu těla nože:

- čtvercový,
- kruhový,
- obdélníkový,
- s lichoběžníkovým profilem.

Podle prováděné operace (viz. obr. 7):

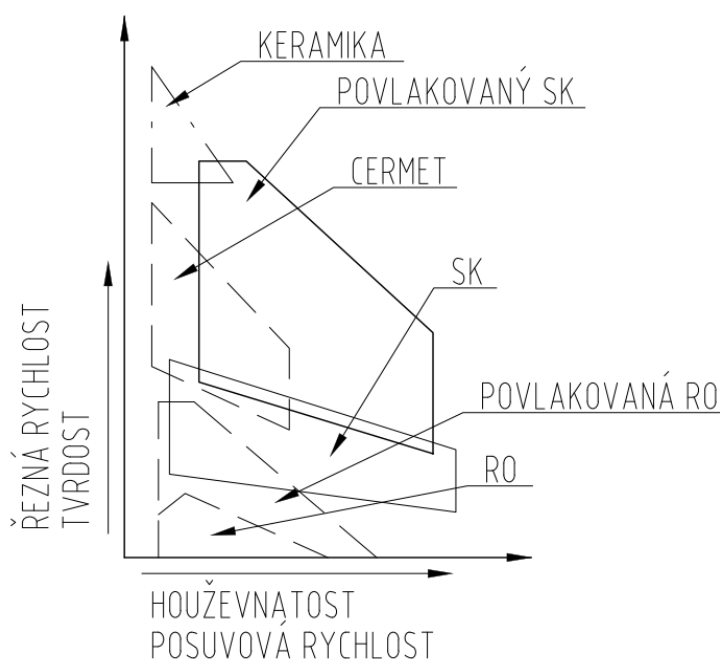


Obr. 7 Rozdělení nástrojů podle jednotlivých operací [7].

1.3 Nástrojové materiály

Jedna z nejdůležitějších charakteristik soustružnického nože je řezný materiál, ze kterého je vyroben břit. V současnosti se používá několik základních materiálů, které jsou voleny především v závislosti na požadovaných řezných podmínkách. Přibližné oblasti použití je znázorněno na obr. 8.

Z tohoto obrázku je zřejmé, že řezné podmínky souvisí hlavně s tvrdostí a houževnatostí. Obecně platí, že čím tvrdší materiál bude, tím klesne houževnatost. Pokud je požadována vysoká řeznou rychlost, musí se počítat s nižší posuvovou rychlostí a zvolit jeden z tvrdších materiálů (např. keramika). Naopak pokud se chce docílit vysoké posuvové rychlosti, musí se snížit řezná rychlost a zvolí se houževnatý materiál, například slinutý karbid.



Obr. 8 Přehled využití řezných materiálů [8].

Na obrázku nejsou zahrnuty supertvrdé řezné materiály, mezi které patří diamant a kubický nitrid bóru. Je mnohem složitější, a tím i dražší tyto materiály vyrobit, proto je z nich vyrobena pouze ta malá část nástroje, která je ve styku s obráběným povrchem. Používají se zejména pro speciální aplikace. Tyto materiály mají velmi výhodné hodnoty pevnosti v tlaku a tvrdosti [8, 9].

Diamant má nevýhodu, že je teplotně nestálý a při zahřátí nad 650 °C se začne měnit na grafit, což znamená, že se nesmí používat pro obrábění litiny a oceli. Velice výhodné možnosti má tento materiál v oblasti obrábění hliníkových slitin, kde lze použít řezné rychlosti až 5000 m·min⁻¹ [8, 9].

Kubický nitrid bóru se používá pro soustružení kalených ocelí do tvrdosti 65 HRC řeznou rychlostí až 200 m·min⁻¹. Minimálně se doporučuje tvrdost obráběného materiálu 45 HRC, protože by bylo neekonomické obrábět měkký materiál takto drahým nástrojem [8, 9].

Rychlořezné oceli (RO):

Jde o řezný materiál, který je postupně obměňován jinými materiály, protože oproti nim má nižší tvrdost a houževnatost, a proto těmto moderním materiálům nemůže konkurovat řeznými podmínkami. Oproti tomu ale stojí za zmínku, protože se v současné strojírenské výrobě stále vyskytuje.

Jsou to vysokolegované nástrojové oceli (oceli třídy 19). Tvrdost těchto ocelí je dána zakalením a přítomností legujících prvků (Cr, W, Mo a V). Vysoké procento legujících prvků způsobuje dobrou prokalitelnost a tím i menší ochlazovací rychlosti při kalení [8, 9, 10].

Obrábět lze těmito materiály do teploty 600 °C, a proto musíme používat vhodné procesní kapaliny. Aby se zlepšily řezné vlastnosti, používají se povlaky, které zajistí, aby se s tímto materiálem lépe obrábělo [10].

Příklady používaných RO a jejich použití je uvedeno v tab. 4.

Tab. 4 Rychlořezné oceli [10].

Označení podle normy	Hutní označení	Použití
19 802	Maximum Speciál G Extra	Obrábění materiálů cca do pevnosti 850 MPa hrubováním.
19 830	Maximum Speciál M05	Obrábění materiálů do pevnosti 900 MPa i přerušovaným řezem a při požadavku na vysokou houževnatost.
19 855	Maximum Speciál 55	Vysoce namáhané nástroje pro obrábění ocelí, ocelolitiny s vysokou pevností a těžkoobrobitelných materiálů při vysokých řezných rychlostech.
19 856	Maximum Speciál 55G	Vysoce namáhané nástroje pro obrábění ocelí, ocelolitiny s vysokou pevností a těžkoobrobitelných materiálů při vysokých řezných rychlostech.
19 857	MKG	Hrubování oceli, ocelolitiny s vysokou pevností a těžkoobrobitelných materiálů.
19 858	Radeco C	Jemné a přesné obrábění oceli, ocelolitiny s vysokou pevností, tvrdých a abrazivních materiálů nepřerušovaným řezem.
19 859	MK	Nejvýše namáhané nástroje pro hrubování oceli, ocelolitiny s vysokou pevností a houževnatých materiálů.
19 860	MKH	Nejvýše namáhané nástroje pro hrubování oceli, ocelolitiny s vysokou pevností a houževnatých materiálů.
19 861	Radeco M10	Jemné obrábění oceli a ocelolitiny, ubírání třísek velkého průřezu u oceli a ocelolitiny p vysoké pevnosti.

Slinuté karbidy (SK):

Jde o materiál, který je v současnosti nejpoužívanější pro výrobu výměnných břitových destiček. Vyrábí se technologií zvanou prášková metalurgie. Dochází ke spékání nejčastěji karbidů wolframu (WC), titanu (TiC), Ta a Cr. Kobalt (Co) je zde využitý, jako pojivo [8, 9, 10].

Slinuté karbidy mohou pracovat do teploty 900 °C. Oproti rychlořezné oceli mají mnohem lepší otěruvzdornost a větší tvrdost. Nevýhodou je ale větší křehkost a sklon k vydrolování [10].

Základní rozdělení podle ISO zahrnuje 6 skupin, jsou rozděleny velkým písmenem a barvou (viz. tab. 5):

Tab. 5 Základní rozdělení SK [10].

Skupina P	SK pro obrábění běžných konstrukčních uhlíkových a feritických korozivzdorných ocelí. Tvoří plynulou třísku.
Skupina M	SK pro obrábění litých, austenitických a austeniticko-feritických ocelí. Tvoří plynulou i krátkou třísku.
Skupina K	SK pro obrábění litin. Tvoří krátkou třísku a převažuje zde abrazivní a adhezní opotřebení.
Skupina N	SK pro obrábění neželezných kovů.
Skupina S	SK pro obrábění tepelně odolných slitin.
Skupina H	SK pro obrábění kalených ocelí.

Přibližné složení třech základních skupin [9]:

- skup. P - WC (30±82 %) + TiC (8±64 %) + Co (5±17 %) + (TaC.NbC),
- skup. M - WC (79±84 %) + TiC (5±10 %) + TaC.NbC (4±7 %) + Co (6±15 %),
- skup. K - WC (87±92 %) + Co (4±12 %) + (TaC.NbC).

V současnosti se klade velký důraz na povlaky, které zajišťují mnohem vyšší odolnost a tvrdost. Používají se povlaky karbidu titanu (TiC), nitridu titanu (TiN), nebo oxidu hlinitého (Al₂O₃) [9].

Používají se dvě povlakovací metody:

- PVD (Physical Vapour Deposition) - fyzikální napařování, nebo napařování,
- CVD (Chemical Vapour Deposition) - chemické napařování z plynné fáze.

Charakteristiky obou metod a rozdíly jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 6 Metody PVD a CVD [9].

Charakteristika	PVD		CVD
	Napařování	Naprašování	
Mechanismus tvorby povlaku	tepelná energie	pohybová energie	chemická reakce
Teplota povlakování [°C]	<500		700 až 1200
Doba cyklu povlakování	kratší		delší
Původní použití	rychlořezné oceli		SK
Tloušťka povlaku [μm]	2 až 4		5 až 10
Rychlost povlakování	velmi vysoká	nízká	střední
Rovnoměrnost	špatná	dobrá	dobrá
Povlakování ostrých hran	ano		obtížné
Zbytková napětí v povlaku	tlaková		tahová
Energetická náročnost	nízká		vysoká

Řezná keramika:

Keramika je materiál, který je tvořen hlavně anorganickými sloučeninami nekovového charakteru.

Hlavní výhodou je velká tvrdost, otěruvzdornost a obrábění při vysokých teplotách (dosahujeme až 1600 °C).

Nevýhodou je vysoká křehkost, proto není možné používat vysoké posuvové rychlosti.

Základní rozdělení je na keramiku oxidovou a nitridovou.

Oxidová keramika:

Základní surovinou je oxid hlinitý (Al_2O_3), který je jedním z nejtvrdších známých materiálů. Dále jsou přidány látky, které zlepší proces slinování a zabrání růstu zrna. Následuje mokré semletí a vysušení rozprašováním. Vznikne prášek schopný soudržnosti, který se lisuje na požadovaný tvar a rozměry. Dále se polotovar přemístí do speciální pece, kde dochází ke spékání. Po vytažení z pece probíhá broušení na požadované konečné rozměry a strukturu povrchu [9, 10].

Nitridová keramika:

Má vysokou odolnost proti mechanickému poškození bříty a je používána pro dokončování, ale i hrubování šedé litiny s hrubou licí kůrou. Je vhodná také pro přerušovaný řez, nebo proměnlivou hloubku řezu. Má své uplatnění i pro obrábění žárupevných slitin na bázi niklu.

Obecně lze řeznou keramiku charakterizovat, jako materiál, který má oproti ostatním vysokou odolnost vůči abrazivnímu opotřebení a chemickým vlivům. Další přednost je odolnost proti poklesu tvrdosti se vzrůstající teplotou [9, 10].

Cermet:

U tohoto materiálu se využívá směs karbidů a nitridů s kovovým pojivem. Díky tomu lze získat výhodnou kombinaci mechanických vlastností (tvrdost a houževnatost) [9].

Základní složka není WC jako u slinutých karbidů, ale TiC, TiN, nebo TiCN.

Vliv jednotlivých složek na vlastnosti cermetu je uvedený v tab. 7.

Tab. 7 Vliv jednotlivých složek na vlastnosti cermetu [9].

TiC	tvrdost
TiN	stabilizace růstu zrna, odolnost proti opotřebení
Mo ₂ C/WC	slinovací aktivita
Co	houževnatost
(Ta, Nb)C	tvrdost za vysokých teplot, odolnost proti teplotním šokům

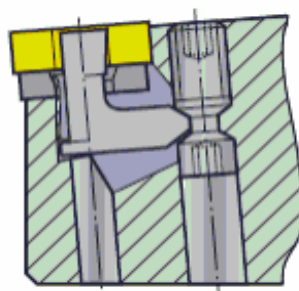
1.4 Systémy upínání VBD

Vyměnitelné břitové destičky se musí mechanicky upnout do vybrání v tělese soustružnického nože, a proto existuje několik systémů upínání, které se v současnosti běžně používají. Obecně platí, že tělo nože je konstruováno tak, aby hlavní složky řezných sil byly zachyceny v lůžku pro VBD. Mechanismus upnutí potom zachycuje jen řádově nižší síly [7].

Dále jsou nečastější systémy upnutí uvedeny:

ISO P (viz. obr. 9)

Upnutí je realizováno úhlovou pákou. Je vhodné jak pro hrubovací, tak pro dokončovací operace. Tento způsob je možné použít pro vnější i vnitřní soustružnické nože [7, 11].

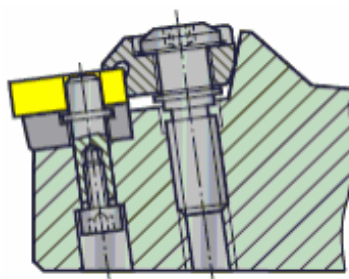


Obr. 9 Upnutí ISO P [11].

ISO M (viz. obr. 10)

Jde o upínání, které se používá výhradně pro vnější soustružnické nože. Tento typ je vhodný pro stejné VBD, jako ISO P, ale je předpokládáno vyšší dynamické zatížení [7, 11].

Destička je nasazena na pevném čepu a shora je natlačena upínkou.

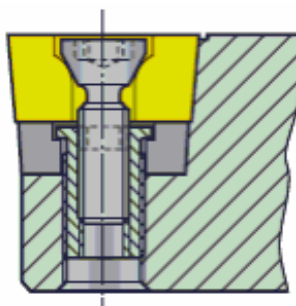


Obr. 10 Upnutí ISO M [11].

ISO S (viz. obr. 11)

Použití tohoto typu je zejména u menších soustružnických nožů, protože upínací mechanismus zabírá menší prostor, než ostatní systémy [7, 11].

Upnutí je provedeno šroubem, který prochází kuželovým otvorem ve VBD. Dotážením tohoto šroubu bude dosaženo také ustavení.

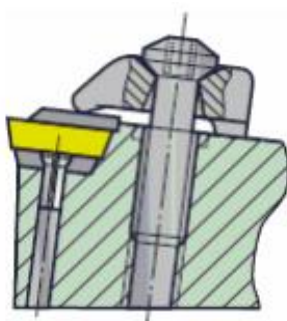


Obr. 11 Upnutí ISO S [11].

ISO C (viz. obr. 12)

Tento systém se používá pro upínání destiček bez otvoru. Destička je fixována v lůžku pomocí upínky, která je přitahována šroubem [7, 11].

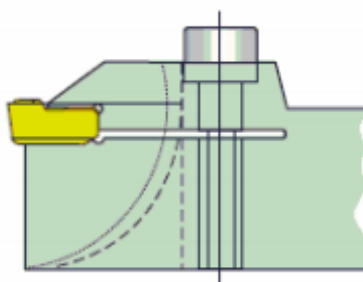
V současnosti se používá méně, protože je nahrazován výhodnějším typem ISO S.



Obr. 12 Upnutí ISO C [11].

ISO G (viz. obr. 13)

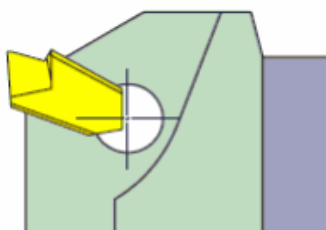
Jde systém upnutí pro zapichovací a upichovací soustružnické nože. Destička je do lůžka natlačována upínkou shora [7, 11].



Obr. 13 Upnutí ISO G [11].

ISO X (viz. obr. 14)

Toto označení nese tzv. speciální upnutí. Bývá to upnutí pro zapichovací a upichovací soustružnické nože, které využívá samosvornost, tzn.: upnutí je realizováno řeznou silou [7, 11].



Obr. 14 Upnutí ISO X [11].

2 MINIATURNÍ SOUSTRUŽNICKÉ NOŽE

Kromě běžných soustružnických nožů existuje také řada speciálních nástrojů, které jsou v některých oblastech použití nenahraditelné.

Úkolem této práce je uvést miniaturní soustružnické nože, jejich použití a navrhnout sadu několika zástupců nástrojů s vyměnitelnou břitovou destičkou (VBD).

Jde pouze o speciální případ běžných soustružnických nožů, proto se rozdělení nijak zásadně neliší. Opět se dělí na vnitřní a vnější. Zásadní rozdíl je v konstrukci upínání z důvodu mnohem menšího prostoru pro upnutí výměnné břitové destičky.

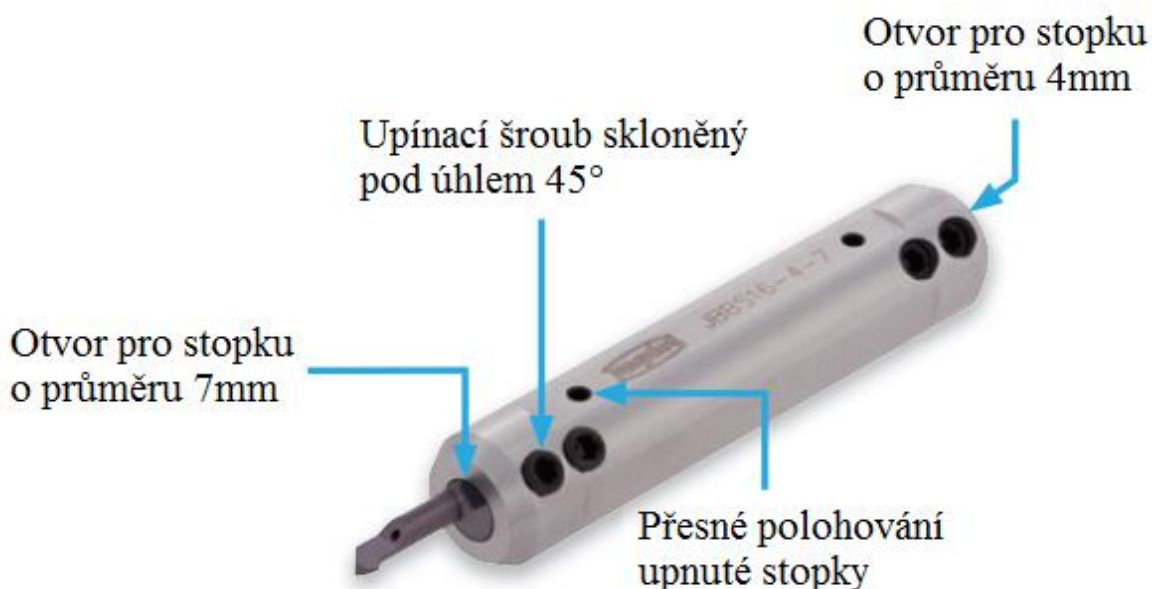
2.1 Celokarbidové vnitřní miniaturní soustružnické nože

Jedná se o obdobu celistvých soustružnických nožů se stopkou do průměru 8 mm. Aby se dal nástroj jednoduše upnout do stroje, je nezbytnou součástí také pouzdro, do kterého stopka pasuje a je možno ji tam snadno a rychle upnout. Je běžné, že do jednoho pouzdra pasují dva rozdílné průměry stopek z důvodu částečné univerzálnosti (např. Ø4 mm a Ø7 mm) [12, 13].

Na obr. 15-16 jsou uvedeny jak jednostranné, tak oboustranné celokarbidové soustružnické nože.



Obr. 15 Celokarbidové vnitřní soustružnické nože [13].



Obr. 16 Celokarbidový oboustranný vnitřní soustružnický nůž [12].

Šířka záběru hlavního ostří (a_p) se u těchto nástrojů pohybuje u běžného soustružení v hodnotách až 1 mm, u zapichování potom až 2,5 mm [12, 13].

Rádus špičky bříty (r_ϵ) se pohybuje v hodnotách 0,04 - 0,2 mm. Lze tedy říct, že zde dosahujeme mnohem přesnějších rozměrů, než u obrábění běžnými nástroji, kde r_ϵ odpovídá hodnotě 0,8 mm pro dokončovací operace.

Tyto nástroje jsou nezastupitelné v obrábění extrémně malých vnitřních průměrů a vynikají vysokou přesností soustružení. Přesnost opakovatelnosti upnutí dosahuje až hodnoty 0,005 mm [12, 13].

Přehled několika používaných operací a odpovídající řezné podmínky (viz. tab. 8-10):

Tab. 8 Řezné podmínky při soustružení a profilování [12].

Obráběný materiál	Řezná rychlost	Posuv na otáčku
	[m/min]	[mm]
Běžné konstrukční oceli	40 - 140	0,01 - 0,08
Korozivzdorné oceli	40 - 140	
Litiny	30 - 100	
Neželezné kovy	90 - 200	
Slitiny titanu	30 - 100	

Tab. 9 Řezné podmínky při závitování [12].

Obráběný materiál	Řezná rychlost	Počet průchodů nástroje				
	[m/min]	Stoupání [mm]				
		0,5	0,75	1	1,25	1,5
Běžné konstrukční oceli	40 - 140	6 - 8	8-10	10-12	12-15	15-18
Korozivzdorné oceli	40 - 140	8	10	12	15	18
Litiny	30 - 100	7	9	12	14	17
Neželezné kovy	90 - 200	6	8	10	12	15

Tab. 10 Řezné podmínky při zapichování [12].

Obráběný materiál	Řezná rychlost	Posuv na otáčku
	[m/min]	[mm]
Běžné konstrukční oceli	40 - 140	0,01 - 0,03
Korozivzdorné oceli	40 - 140	
Litiny	30 - 100	
Neželezné kovy	90 - 200	
Slitiny titanu	30 - 100	

2.2 Vnitřní miniaturní soustružnické nože s VBD

Vnitřní miniaturní soustružnické nože s VBD jsou stejně jako klasické složeny ze dvou hlavních částí. Nástroj tvoří VBD a tělo nože, které je upnuto do stroje. VBD je k tělu nože upnuta mechanicky pomocí šroubu. Upnutí je provedeno pomocí šroubu v ose nástroje. VBD je uložena na čele těla nože, kde je ustavena pomocí třech drážek [13, 14].

Části těchto soustružnických nožů

Tělo nože

Na současném trhu se vyskytuje více vyráběných provedení. Uvedeny jsou pouze některé z nich. Důležité je, aby splňovaly požadovanou tuhost z důvodu přesnosti obrábění.

Karbidová stopka s hlavou z legované oceli (viz. obr. 17):



Obr. 17 Karbidová stopka s hlavou z legované oceli [14].

Zesílená karbidová stopka s hlavou z legované oceli (viz. obr. 18):



Obr. 18 Zesílená karbidová stopka s hlavou z legované oceli [14].

Stopka z vysoce legované oceli (viz. obr. 19):



Obr. 19 Stopky z vysoce legované oceli [14].

Stopka upnuta v pouzdře (viz. obr. 20):

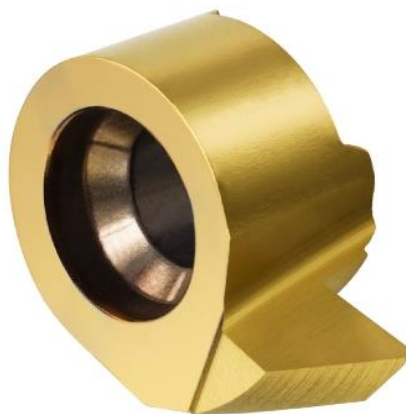
jde o obdobné upnutí, jako se používá u celokarbidových soustružnických nožů, jak je již uvedeno v předchozí podkapitole (2.1).



Obr. 20 Stopka upnuta v pouzdře [14].

Vyměnitelné břitové destičky

VBD jsou kruhového tvaru z důvodu specifického systému upínání pro tento typ. Břit se nachází na obvodu. Na obr. 21 je uveden příklad takové destičky [13].



Obr. 21 VBD miniaturních soustružnických nožů pro vnitřní soustružení [13].

Těmito nástroji je možno obrábět v otvoru o průměru minimálně 10 mm.

2.3 Vnější soustružnické nože s VBD

Jde o soustružnické nože, které se od běžných vnějších soustružnických nožů liší pouze průřezem stopky. Pro obrábění takovými nástroji platí, že musí být použity menší posuvové rychlosti a šířky záběru hlavního ostří. Vzhledem k malé posuvové rychlosti a poloměru špičky hlavního ostří je možno obrábět s velice vysokou přesností [4, 10, 15].

3 KONSTRUKCE SOUSTRUŽNICKÝCH NOŽŮ

Pro konstrukci sady soustružnických nožů, byly zvoleny 3 typy:

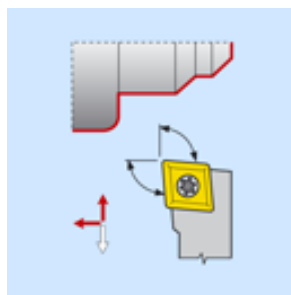
- univerzální soustružnický nůž pro hrubování,
- soustružnický nůž pro dokončování,
- zapichovací soustružnický nůž.

Veškerá výkresová dokumentace je obsažena v přílohách.

3.1 Univerzální soustružnický nůž pro hrubování

Jde o soustružnický nůž, který je určen pro hrubovací operace, a jeho možnosti jsou zobrazeny na obr. 22. Je možno s ním obrábět jak čelo, tak válcové plochy.

Označení nástroje dle ISO normy: SCLCR 0808_D06



Obr. 22 Možnosti obrábění soustružnickým nožem SCLCR 0808 D06 [15].

VBD

VBD byla volena dle ISO normy CCGT 060202F-AL [15].

Materiál destičky byl zvolen slinutý karbid dle ISO normy P30. Takový materiál je vhodný pro soustružení oceli, ocelolitin a ušlechtilých ocelí. Můžou se odebírat střední a velké průřezy třísek [10].

Pro takovou VBD jsou doporučeny řezné podmínky [15]:

$$f = 0,06 - 0,15 \text{ mm}$$

$$a_p = 0,3 - 3 \text{ mm}$$

$$\text{Poloměr špičky hlavního ostří: } r_\epsilon = 0,2 \text{ mm}$$

Tělo nože

Tělo nože se bude vyrábět z materiálu 12050. Takový materiál dosahuje po zušlechtní meze pevnosti v rozmezí $R_m = 700 - 850 \text{ MPa}$. Po obrobení bude proto na výkrese předepsáno zušlechnit na mez pevnosti $R_m = 800 \pm 20 \text{ MPa}$, následně černit [16].

Geometrie

Nástroj je určen hlavně pro hrubovací operace, proto je negativní geometrie lepší volba. Dosáhne se tak lepší pevnosti břitu, která dovolí rychlejší posuvové rychlosti. Negativní geometrii lze dosáhnout zápornými řeznými úhly [5].

Byly zvoleny úhly:

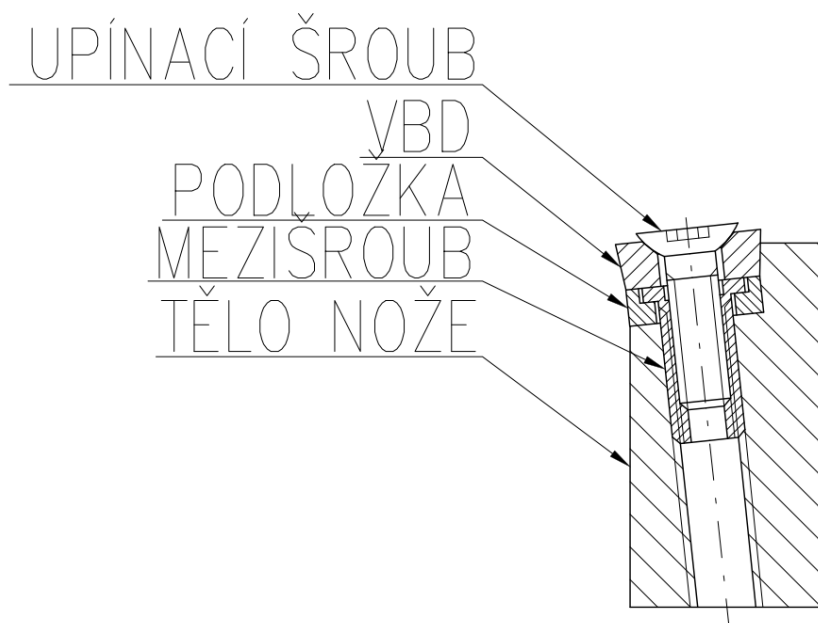
úhel čela v ortogonální rovině: $\gamma_o = -6^\circ$

úhel sklonu hlavního ostří: $\lambda_s = -6^\circ$

Způsob upínání VBD

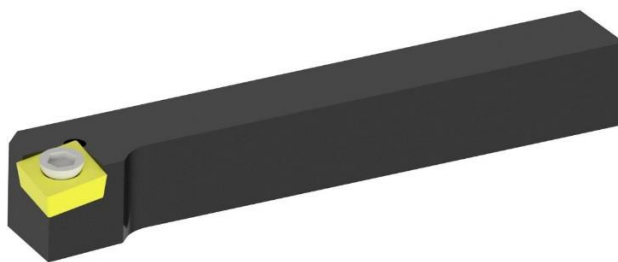
S ohledem na velmi malé rozměry soustružnického nože bylo zvoleno upínání ISO S (šroubem). Hlavní výhodou tohoto systému upnutí je, že zabírá podstatně menší prostor, než ostatní možnosti.

Běžně se pod VBD umísťuje podložka ze slinutého karbidu, která slouží k pohlcování rázů (viz. obr. 23). V tomto případě byla provedena konstrukce bez podložky z důvodu malého prostoru pod VBD, což uvádí i firma Pramet Tools ve svém katalogu [15].



Obr. 23 Běžné upnutí ISO S.

Model soustružnického nože byl vytvořen v programu Autodesk Inventor Professional 2016 a je zobrazen na obr. 24.

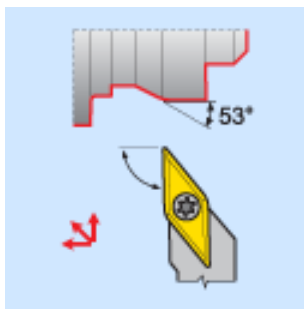


Obr. 24 Soustružnický nůž SCLCR 0808 D06.

3.2 Soustružnický nůž pro dokončování

Jde o soustružnický nůž, který je primárně určen pro dokončovací operace. Možnosti obrábění jsou zobrazeny na obr. 25. Je možno dokončovat jak čelo, tak válcové plochy.

Označení nástroje dle ISO normy: SVGCR 0808 K07



Obr. 25 Možnosti obrábění soustružnickým nožem SVGCR 0808 K07 [15].

VBD

VBD byla volena dle ISO normy VCGT 070202E-AL [15].

Materiál destičky byl zvolen slinutý karbid dle ISO normy P10. Takový materiál je vhodný pro soustružení na čisto a polohrubování oceli a ocelolitiny. Můžou se odebírat pouze malé průřezy třísek [10].

Pro takovou VBD jsou doporučeny řezné podmínky [15]:

$$f = 0,05 - 0,1 \text{ mm}$$

$$a_p = 0,3 - 1,75 \text{ mm}$$

Poloměr špičky hlavního ostří: $r_\epsilon = 0,2 \text{ mm}$

Tělo nože

Tělo nože se bude vyrábět stejně jako v předešlém případě z materiálu 12050. Proto bude na výkrese také předepsáno zušlechtit na mez pevnosti $R_m = 800 \pm 20 \text{ MPa}$, následně černit [16].

Geometrie

Nástroj je určen hlavně pro dokončovací operace, proto je pozitivní geometrie lepší volba. Dosáhne se tak nižší řezné síly a lepšího odvodu třísek. Pozitivní geometrii lze dosáhnout kladnými řeznými úhly [5].

Byly zvoleny úhly:

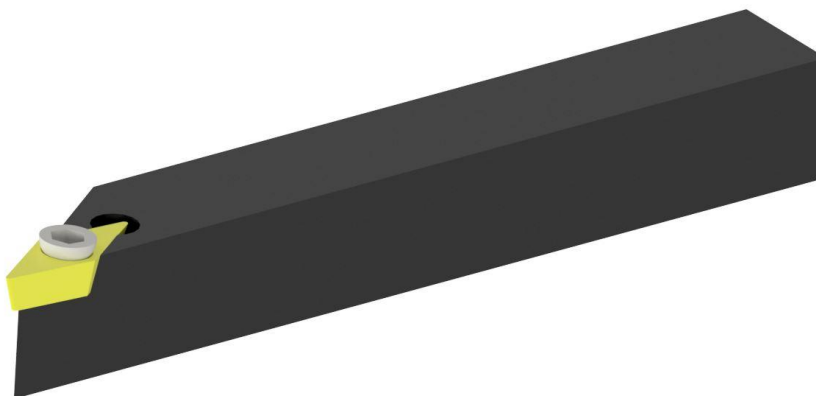
úhel čela v ortogonální rovině: $\gamma_o = 0^\circ$

úhel sklonu hlavního ostří: $\lambda_s = +3^\circ$

Způsob upínání VBD

Stejně jako u předchozího soustružnického nože bylo zvoleno upínání ISO S z důvodu malého prostoru pro upínací systém.

Model vytvořený v programu Autodesk Inventor Professional 2016 je zobrazen na obr. 26.

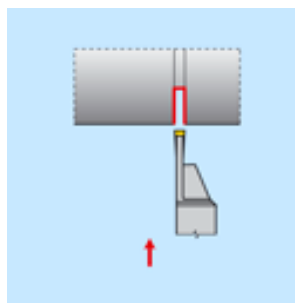


Obr. 26 Soustružnický nůž SVGCR 0808 K07.

3.3 Zapichovací soustružnický nůž

Jde o soustružnický nůž, pomocí kterého je možno dělat zápichy o šířce 1,2 mm, případně větší. Operace určená pro tento nástroj je zobrazena na obr. 27.

Označení nástroje dle ISO normy: SGAFR 8-1.2-D18 [19]



Obr. 27 Operace zapichovacího soustružnického nože [15].

VBD

VBD byla volena dle normy GFN 1.2J [19].

Materiál destičky byl zvolen slinutý karbid dle ISO normy P10.

Pro takovou VBD je doporučen posuv [19]:

$$f = 0,03 - 0,10 \text{ mm}$$

Geometrie

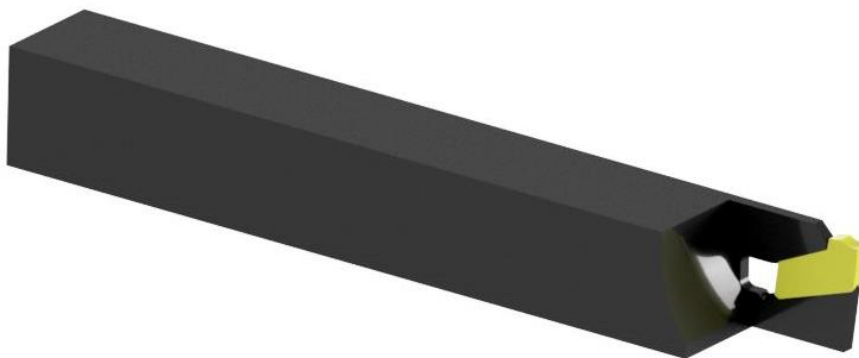
Úhel hřbetu VBD: $\alpha = 7^\circ$

Úhel čela VBD: $\gamma = 3,5^\circ$

Způsob upínání VBD

VBD je vložen do ‚V‘ drážek těla nože. Destička je přitlačována do těla nože samotnou řeznou silou a je zde využita samosvornost, která zajišťuje pevnost upnutí.

Model vytvořený v programu Autodesk Inventor Professional 2016 je zobrazen na obr. 28.



Obr. 28 Soustružnický nůž SGAFR 8-1.2-D18.

4 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole je návrh zhodnocen jak ekonomicky, tak technicky. Bude zde ukázáno, jaké mají tyto nástroje využití, možnosti a výrobní náklady soustružnického nože.

4.1 Technické zhodnocení

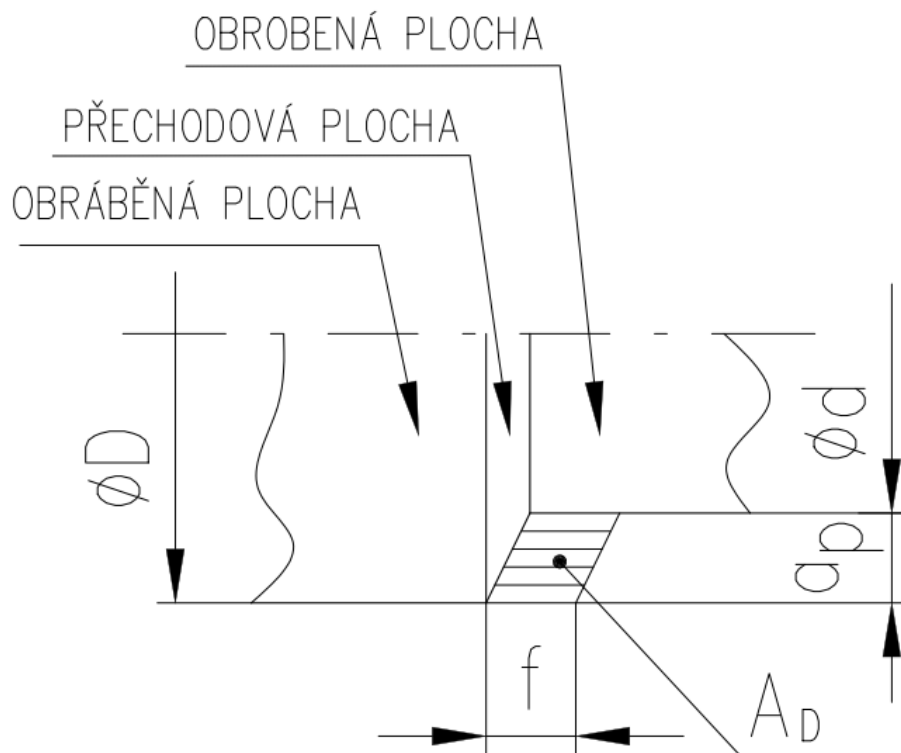
Jde o soustružnické nože, které mají mnohem menší rozměry, než klasické nástroje. Musí být tedy dodrženy některé podmínky při použití.

Řezné podmínky při obrábění jsou jedním z hlavních rozdílů mezi miniaturními soustružnickými noži a běžnými. Porovnání některých základních parametrů je uvedeno v tab. 11 (přibližné hodnoty pro obrábění běžné konstrukční oceli).

Tab. 11 Porovnání parametrů mezi miniaturními a běžnými soustružnickými noži [10, 15].

Parametr	Soustružnický nůž	
	Miniaturní	Běžné velikosti
Posuv f [mm]	0,03-0,15	0,10-0,50
Šířka záběru hlavního ostří a_p [mm]	0,30-3,00	0,30-10,00
Řezná rychlost v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	100-300	65-200
Poloměr špičky hlavního ostří r_ϵ [mm]	0,2-0,4	0,4-2,4

Porovnání průřezu třísky a výkonnosti obrábění vyplývá z obr. 29.



Obr. 29 Jmenovitá plocha průřezu třísky.

Jmenovitá plocha průřezu třísky A_D se vypočítá pomocí vztahu:

$$A_D = a_p \cdot f \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4.1)$$

Pro výkonnost obrábění Q platí vztah:

$$Q = a_p \cdot f \cdot v_c \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right] \quad (4.2)$$

Po dosazení přibližných hodnot z tab. 11 se vypočítají následující hodnoty.

Pro miniaturní soustružnické nože:

$$A_{D1} = a_p \cdot f = 1 \cdot 0,05 = 0,05 \text{ mm}^2$$

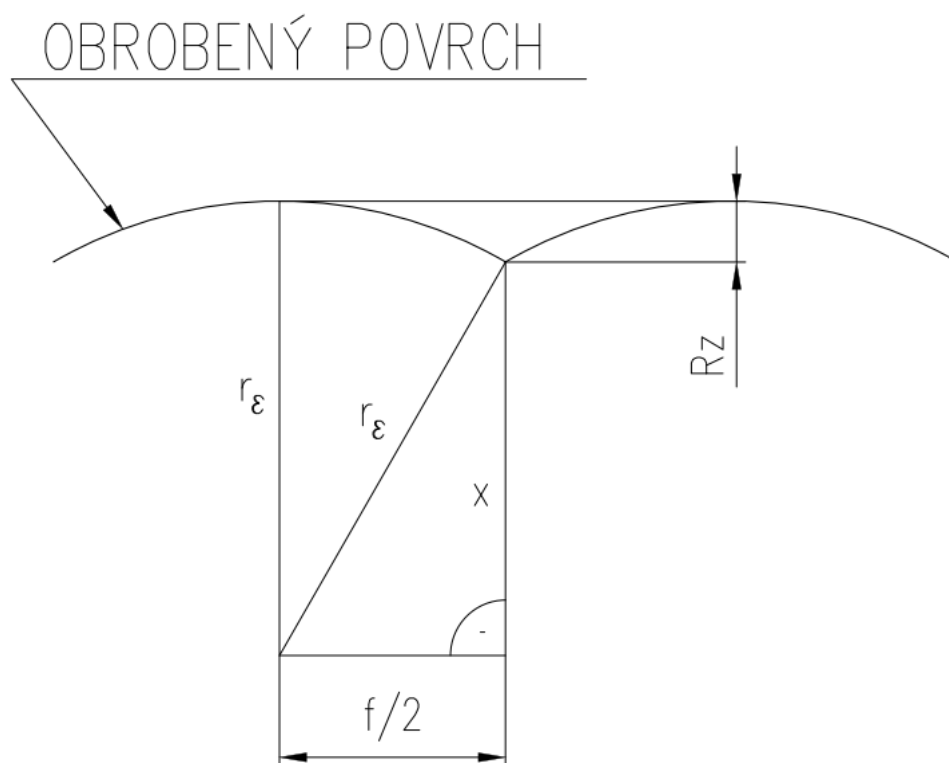
$$Q_1 = a_p \cdot f \cdot v_c = 1 \cdot 0,05 \cdot 200 = 10 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

Pro běžné soustružnické nože:

$$A_{D2} = a_p \cdot f = 2 \cdot 0,25 = 0,5 \text{ mm}^2$$

$$Q_2 = a_p \cdot f \cdot v_c = 2 \cdot 0,25 \cdot 100 = 50 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

Porovnání teoreticky dosažitelné drsnosti povrchu lze vypočítat pomocí vztahu (4.3), který vychází z obr. 30. Drsnost povrchu je zde určena, jako největší výška profilu R_z .



Obr. 30 Největší výška profilu R_z .

$$Rz = (r_{\varepsilon} - x) \cdot 10^3 [\mu m]$$

$$x = \sqrt{r_{\varepsilon}^2 - \left(\frac{f}{2}\right)^2} [mm]$$

$$Rz = \left(r_{\varepsilon} - \sqrt{r_{\varepsilon}^2 - \left(\frac{f}{2}\right)^2} \right) \cdot 10^3 [\mu m] \quad (4.3)$$

Pro miniaturní soustružnické nože:

$$Rz_1 = \left(r_{\varepsilon} - \sqrt{r_{\varepsilon}^2 - \left(\frac{f}{2}\right)^2} \right) \cdot 10^3 = \left(0,2 - \sqrt{0,2^2 - \left(\frac{0,05}{2}\right)^2} \right) \cdot 10^3 = 1,569 \mu m$$

Pro běžné soustružnické nože:

$$Rz_2 = \left(r_{\varepsilon} - \sqrt{r_{\varepsilon}^2 - \left(\frac{f}{2}\right)^2} \right) \cdot 10^3 = \left(1,6 - \sqrt{1,6^2 - \left(\frac{0,25}{2}\right)^2} \right) \cdot 10^3 = 4,890 \mu m$$

Použití nástrojů takových malých rozměrů je hlavně při modelářské činnosti. Obrábí se zde malé průměry, a proto stačí pro takové rozměry odpovídající stroje. Jde o modelářské soustruhy.

Příklad modelářského soustruhu

Je uveden jeden z mnoha zástupců. Jde o soustruh od firmy PROXXON, s.r.o. Jeho název je FD 150/E (viz. obr. 31) [20].



Obr. 31 Modelářský soustruh FD 150/E [20].

Základní technické parametry [20]:

Rozměry stroje: 360x150x150 mm

Skřídlo: 3 čelisti

Nevětší průměr obrobku: 60 mm

Napájení: 230 V

Regulace otáček (2 stupně): 800 - 2800 min⁻¹ / 1500 - 5000 min⁻¹

Hmotnost: 4,5 kg

Z ohledem na velmi malé rozměry a nízkou hmotnost je takový soustruh vhodné umístit na pracovní stůl, ke kterému je následně přišroubován.

Cena těchto soustruhů se pohybuje okolo 20 000 Kč.

4.2 Ekonomické zhodnocení

K určení přibližných nákladů na výrobu soustružnického nože je potřeba vypracovat technologický postup výroby těla nože. Byl zvolen technologický postup výroby těla nože určeného pro dokončovací operace (viz. tab. 13). Použité nástroje a pomůcky jsou uvedeny v tab. 12.

Tab. 12 Seznam použitých nástrojů [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27].

Označení	Nástroj/pomůcka
1	Pilový pás 27x0,9, PILOUS, art./420 [21]
2	Posuvné měřítko, B.O.S., 11016511 [22]
3	Fréza Ø12mm, Sandvik Coromant, 1P240-1000-XA [24]
4	Fréza Ø1mm, Iscar, EC010E025-3C03 [25]
5	Středící vrták Ø1mm, Stimzet, A100100V000S [26]
6	Vrták Ø1,6mm, Stimzet, A210160V000S [27]
7	Vrták Ø4mm, Stimzet, A210400V000S [27]
8	Strojní závitník M2, VÖLKEL, art./80516 [28]
9	Závitový kalibr M2, Unimetra, ISO DIN 13, Typ: 0000, [30]

Tab. 13 Technologický postup.

TECHNOLOGICKÝ POSTUP						
Název součásti: TĚLO_NOŽE		Číslo výkresu: BP_02_01		Čistá hmotnost [kg]: 0,027		
Materiál: 12050		Polotovar: 4HR_10-65		Hrubá hmotnost [kg]: 0,033		
Č. op.	Pracoviště	Popis práce	Nástroj	t _{AS} [min]	t _{AC} [min]	Cena [kč]
00/00	PÁSOVÁ PILA ARG 200	ŘEZAT TYČOVÝ MAT. 4HR_10 NA DÉLKU 65 ⁰ _{-0,3}	1	0,20	0,30	2,50
01/01	OTK	KONTROLOVAT ROZMĚRY 10x10x65 POSUVNÝM MĚŘÍTKEM	2	-	0,20	1,67
02/02	FRÉZKA FVT 1	UPNOUT OBROBEK ZA ROZMĚR 10, FRÉZOVAT 10 NA 9	3	0,22	0,50	4,17
03/03	FRÉZKA FVT 1	UPNOUT ZA ROZMĚR 10 A FRÉZOVAT 9 NA 8	3	0,22	0,50	4,17
04/04	FRÉZKA FVT 1	UPNOUT ZA OBROBENÝ ROZMĚR 8, FRÉZOVAT 10 NA 9	3	0,22	0,50	4,17
05/05	FRÉZKA FVT 1	UPNOUT ZA ROZMĚR 8 A FRÉZOVAT 9 NA 8	3	0,22	0,50	4,17
06/06	FRÉZKA FVT 1	UPNOUT NA VÝŠKU ZA ROZMĚR 8, FRÉZOVAT 65 NA 64	3	0,07	0,30	2,50
07/07	FRÉZKA FVT 1	UPNOUT OBROBEK ZA ROZMĚR 8, HRUBOVAT 64 NA 59 FRÉZOVAT NA ČISTO NA 58,65	3	0,04+ 0,07	0,34	2,84
08/08	OTK	KONTROLOVAT ROZMĚRY 8x8x58,65 POSUVNÝM MĚŘÍTKEM	2	-	0,20	1,67

09/09	FRÉZKA FVT 1	UPNOUT ZA ROZMĚR 8 DO SKLOPNÉHO STROJNÍHO SVĚŘÁKU POD ÚHLEM 35° FRÉZOVAT-HRUBOVAT SRAŽENÍ 35° FRÉZOVAT NA ČISTO SRAŽENÍ 35°	3	0,06+ 0,09	0,55	4,59
10/10	FRÉZKA OPS 600	UPNOUT ZA ROZMĚR 8 DO SKLOPNÉHO STROJNÍHO SVĚŘÁKU POD ÚHLEM ČELA 3° FRÉZOVAT LŮŽKO FRÉZOVAT 2X SRAŽENÍ 7°	4	0,04+ 0,01·2	0,40	5,34
11/11	VRTACÍ PORTÁL FVP 120 CNC	UPNOUT OBROBEK, LŮŽKEM NAHORU ZA ROZMĚR 8 VRTAT STŘEDÍCÍ DŮLEK PRO DÍRU SE ZÁVITEM M2-6H PŘEDVRTAT DÍRU Ø1,6 PRO ZÁVIT M2-6H SRAZIT HRANU ŘEZAT ZÁVIT M2-6H	5, 6, 7, 8	0,01+ 0,08+ 0,01+ 0,04	0,80	10,67
12/12	ZÁMEČ- NICKÁ DÍLNA	ODSTRANIT OSTRÉ HRANY	-	-	0,50	4,17
13/13	OTK	KONTROLOVAT VIZUÁLNĚ 100% KONTROLOVAT ZÁVITOVÝM KALIBREM ZÁVIT M2-6H	9	-	0,20	1,67
14/14	MIKRO- ÚDEROVÝ ZNAČÍCÍ STROJ TECHNO- MARK MULTI 4E	ZNAČIT SVGCR 0808 K07 DLE VÝKRESU	-	-	0,30	2,50
15/15	KALÍRNA	ZUŠLECHTIT NA Rm=800±20 MPa	-	-	-	100,00

16/16	OTK	KONTROLOVAT TVRDOST PO ZUŠLECHTĚNÍ	-	-	0,30	2,50
17/17	GALVA- NOVNA	ČERNIT SOUČÁST	-	-	-	40,0
18/18	SKLAD	SOUČÁST BALIT, PALETIZOVAT, VYEXPEDOVAT	-	-	-	10,00
VYPRACOVAL: DAVID BALHAR			CELKEM:	1,61	6,39	209,30

Strojní časy byly vypočítány dle příslušných vztahů. Uveden je příklad pro operaci 07/07.

Hrubování:

Hodnoty získané z katalogu jsou uvedeny v tab. 13.

Tab. 13 Známé parametry pro hrubování [24].

Název	Označení	Jednotka	Hodnota
Řezná rychlost	v_c	$[m \cdot min^{-1}]$	100
Posuv na zub	f_z	$[mm]$	0,036
Ø frézy	D	$[mm]$	12
Počet zubů frézy	z	$[-]$	4
Délka frézované součásti	l	$[mm]$	8
Délka náběhu	l_{nh}	$[mm]$	3
Šířka frézované součásti	B	$[mm]$	8
Počet třísek	i	$[-]$	1

Výpočet:

Pro výpočet strojního času pro čelní frézování platí obecný vztah:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} [min] \quad (4.4)$$

Pro výpočet otáček se použije vztah:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot min^{-1}] \quad (4.5)$$

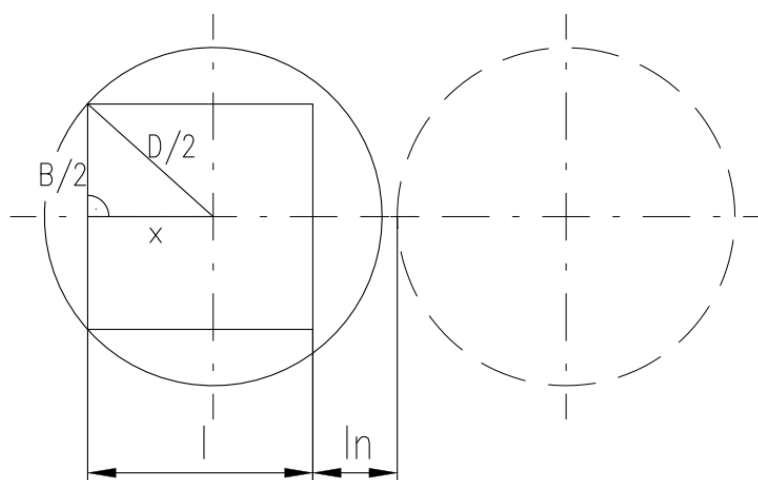
$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 12} = 2653 \text{ min}^{-1}$$

Pro výpočet posuvu platí vztah:

$$f = f_z \cdot z \text{ [mm]} \quad (4.6)$$

$$f = f_z \cdot z = 0,036 \cdot 4 = 0,144 \text{ mm}$$

Celková délka obrábění L vychází z obr. 32.



Obr. 32 Hrubování.

Pro celkovou délku obrábění platí vztah:

$$L = l_{nh} + l + l_{ph} \text{ [mm]} \quad (4.7)$$

$$x = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2} \text{ [mm]}$$

Délka přeběhu se potom spočítá:

$$l_{ph} = \frac{D}{2} - x + 3 \text{ [mm]}$$

Po dosazení do základního vzorce se získá strojní čas:

$$t_{Ashrub} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} = \frac{\left(l_{nh} + l + \left(\frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2} + 3 \right) \right) \cdot i}{n \cdot f}$$

$$t_{Ashrub} = \frac{\left(3 + 8 + \left(\frac{12}{2} - \sqrt{\left(\frac{12}{2}\right)^2 - \left(\frac{8}{2}\right)^2} + 3 \right) \right) \cdot 1}{2653 \cdot 0,144} = 0,04 \text{ min}$$

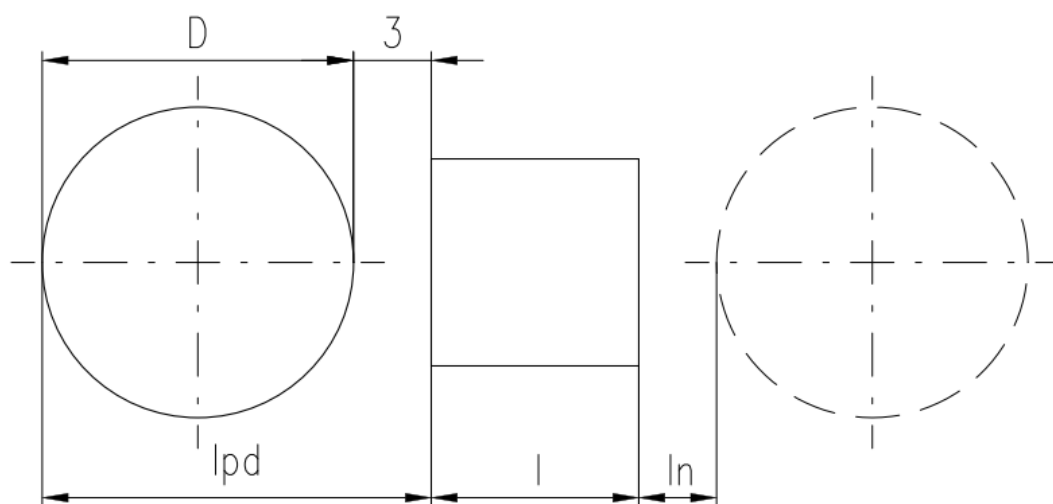
Dokončení:

Hodnoty získané z katalogu jsou uvedeny v tab. 14.

Tab. 14 Znamé parametry pro dokončení [24].

Název	Označení	Jednotka	Hodnota
Řezná rychlost	v_c	$[m \cdot min^{-1}]$	100
Posuv na zub	f_z	$[mm]$	0,036
Ø frézy	D	$[mm]$	12
Počet zubů frézy	z	$[-]$	4
Délka frézované součásti	l	$[mm]$	8
Délka náběhu	l_{nd}	$[mm]$	3
Šířka frézované součásti	B	$[mm]$	8
Počet třísek	i	$[-]$	1

Oproti hrubování se změní pouze výpočet délky přeběhu l_{pd} , přičemž se vychází z obr. 33.



Obr. 33 Dokončení.

Délka přeběhu se vypočítá:

$$l_{pd} = D + 3 [mm]$$

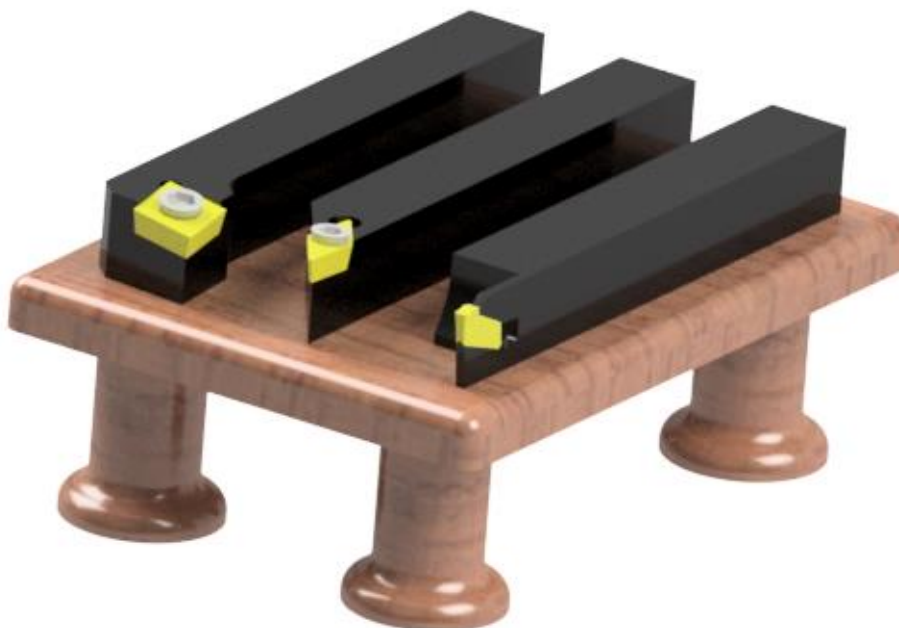
Po dosazení do základního vzorce se získá strojní čas:

$$t_{Asdokon} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} = \frac{l_{nd} + l + (D + 3) \cdot i}{n \cdot f} = \frac{3 + 8 + (12 + 3) \cdot 1}{2653 \cdot 0,144} = 0,07 \text{ min}$$

ZÁVĚR

Tato práce pojednává o miniaturních soustružnických nožích s vyměnitelnou břitovou destičkou, zejména o jejich konstrukčním řešení, možnostech obrábění a použití.

- Byla zpracována rešerše na téma konstrukční řešení jak běžných, tak miniaturních soustružnických nožů s vyměnitelnou břitovou destičkou.
- Za běžně používaných řezných podmínek se dosahuje u miniaturních soustružnických nožů jmenovité plochy průřezu třísky $A_{D1} = 0,05 \text{ mm}^2$ a výkonnosti obrábění $Q_1 = 10 \text{ cm}^3/\text{min}$. U běžných soustružnických nožů se dosahuje větších hodnot: $A_{D2} = 0,5 \text{ mm}^2$ a $Q_2 = 50 \text{ cm}^3/\text{min}$.
- Za běžných řezných podmínek se u miniaturních soustružnických nožů teoreticky dosahuje největší výšky profilu obrobené plochy $Rz_1 = 1,569 \mu\text{m}$. U běžných soustružnických nožů nabývá teoreticky dosažitelná největší výška profilu vyšší hodnoty $Rz_2 = 4,890 \mu\text{m}$.
- Stroje určeny pro práci s takovými nástroji jsou mnohem menší, méně hlasité a rozhodující je, že z ekonomického hlediska mnohem levnější. Cena takového soustruhu se pohybuje kolem 20 000 Kč. Oproti cenám běžných konvenčních soustruhů (stovky tisíc Kč) jsou finančně mnohem dostupnější. Délka miniaturních soustruhů může být i 350 mm.
- Byla navržnuta sada soustružnických nožů (viz. přílohy) a byl proveden technologický postup pro sériovou výrobu těla nože jednoho reprezentanta, což při hrubé kalkulaci ukázalo, že náklady na výrobu jednoho kusu je 209,30 Kč. Na současném trhu se podobné nástroje pohybují okolo 700 Kč, je proto zhodnoceno, že je návrh z ekonomického hlediska výhodný.



Obr. 34 Sada navrhnutých soustružnických nožů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.
2. HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění - I. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, FSI, 2003 [vid. 25. února 2016]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
3. DUBBEL, Heinrich, Wolfgang BEITZ, Karl-Heinz KÜTTNER a B DAVIES. *Handbook of mechanical engineering*. New York: Springer-Verlag, c1994. ISBN 0387198687.
4. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 4. vyd. Úvaly. ALBRA-pedagogické nakladatelství s.r.o., 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
5. DE VOS, Patrick. *Příručka pro technology: Proces obrábění kovů - vliv geometrie*. MM Průmyslové spektrum [online]. 4.9.2012 [cit. 29. února 2016]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-proces-obrabeni-kovu-vliv-geometrie.html>
6. BOROVAN, Petr. *Obrábění prakticky: Řezné nástroje (6) - soustružení II*. Technický týdeník [online]. 11/2011 [cit. 29. února 2016]. ISSN 0040-1064. Dostupné z: http://www.penta-edm.cz/dokumenty/aktuality/technicky_tydenik_2011_11.pdf
7. MRKVICA, Miloš. *Přípravky a obráběcí nástroje*. 3. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2001. ISBN 80-7078-941-7.
8. HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vyd. Brno: CCB, 1995. ISBN 80-85825-10-4.
9. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
10. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
11. URBAN, Marek. *Konstrukce soustružnického nože s VBD pomocí SW Catia V5*, 9 str. [online]. [cit. 2. dubna 2016]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29140
12. Tungaloy Czech, s.r.o., *Nástroje pro vícevřetenové automaty* [online]. [cit. 27. března 2016]. Dostupné z: https://www.tungaloy.com/cz/products/cutting/cutting_05.php
13. Sandvik Coromant, s.r.o., *Soustružení vnitřních ploch* [online]. [cit. 28. března 2016]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/internal-turning-tools.aspx>
14. Vargus, Ltd., *Mini tools for small and medium bores* [online]. [cit. 28. března 2016]. Dostupné z: http://www.vargus.com/download/files/Mini-v%20Groovex_EE_NEW_230414_C_1.pdf
15. Pramet Tools, s.r.o., *Soustružení* [online]. Elektronický katalog Pramet. [cit. 8. dubna 2016]. Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/default.aspx>

16. Bohdan Bolzano, s.r.o., *Přehled vlastností oceli C45E* [online]. [cit. 12. dubna 2016]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_C45.pdf
17. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-839-7.
18. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-838-0.
19. Iscar, s.r.o., *Soustružení/zapichování* [online]. Elektronický katalog Iscar. [cit. 24. dubna 2016]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=2301230&fnum=359&mapp=TG&app=52&GFSTYP=M>
20. PROXXON, s.r.o., *Precision lathe FD 150/E* [online]. [cit. 24. dubna 2016]. Dostupné z: <http://www.proxxon.com/en/micromot/24150.php?list>
21. PILOUS, s.r.o., *Pilové pásy* [online]. [cit. 16. května 2016]. Dostupné z: http://pilous.cz/fileadmin/pilous/kov-pilovepasy/pilove_pasy_cz-nove.pdf
22. B.O.S., a.s., *Měřidla* [online]. [cit. 16. května 2016]. Dostupné z: <http://www.bos-teplce.cz/bos-katalog/?page=158>
23. Svaz výroby a dodavatelů strojírenské techniky, *Katalog obráběcích a tvářecích strojů* [online]. [cit. 18. května 2016]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/view0_1.html
24. *Soustružnické nástroje a Rotační nástroje*. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. Švédsko: Elanders. Leden 2012. Výrobky pro obrábění kovů. C-2900:140 CZE/01.
25. Iscar, s.r.o., *Fréza EC-E-3* [online]. Elektronický katalog Iscar. [cit. 16. května 2016]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=940&mapp=ML&app=59&GFSTYP=M>
26. Stimzet, s.r.o., *Vrták středící* [online]. [cit. 16. května 2016]. Dostupné z: http://stimzet.cz/data/csn221110_cz.html
27. Stimzet, s.r.o., *Vrták s válcovou stopkou - mikrovrták* [online]. [cit. 16. května 2016]. Dostupné z: http://stimzet.cz/data/pn2913_cz.html
28. VÖLKEL, s.r.o., *Short machine taps* [online]. [cit. 16. května 2016]. Dostupné z: <http://www.voelkel.com/en/produkte-en/gewindewerkzeuge-en/einschnittgewindebohrer-en.html>
29. FERMAT, s.r.o., *Frézka OPS 600* [online]. [cit. 18. května 2016]. Dostupné z: <http://www.fermatmachinery.com/pouzite-stroje/frezka/jina/ops-600-cs-161094/>
30. UNIMETRA, s.r.o., *Mezní měřidla - závitová* [online]. [cit. 18. května 2016]. Dostupné z: http://www.unimetra.cz/soubory_zbozi/121_1.pdf
31. PRAMARK, s.r.o., *Mikrouderový značící stroj Technomark ve stojanové verzi* [online]. [cit. 19. května 2016]. Dostupné z: <http://www.pramark.cz/mikrouderove-stroje/stojanove-verze-multi4e/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
Al₂O₃	[-]	oxid hlinitý
Co	[-]	kobalt
Cr	[-]	chrom
CVD	[-]	chemické napařování z plynné fáze
ČSN	[-]	česká technická norma
DIN	[-]	německá národní norma
EN	[-]	evropská norma
HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella
ISO	[-]	mezinárodní organizace pro normalizaci
Mo	[-]	molybden
Mo₂C	[-]	karbid molybdenu
NbC	[-]	karbid niobu
OTK	[-]	oddělení technické kontroly
PVD	[-]	fyzikální napařování
RO	[-]	rychlořezná ocel
SK	[-]	slinutý karbid
Ta	[-]	tantal
TaC	[-]	karbid tantalu
TiC	[-]	karbid titanu
TiCN	[-]	karbonitrid titanu
TiN	[-]	nitrid titanu
V	[-]	vanad
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
W	[-]	wolfram
WC	[-]	karbid wolframu

Symbol	Jednotka	Popis
A_D	[mm ²]	jmenovitý průřez třísky
a_p	[mm]	šířka záběru hlavního ostří
$A_{\alpha 1}$	[-]	první hlavní hřbet
$A_{\alpha 1'}$	[-]	první vedlejší hřbet
$A_{\alpha 2}$	[-]	druhý hlavní hřbet
$A_{\alpha 2'}$	[-]	druhý vedlejší hřbet
$A_{\gamma 1}$	[-]	první hlavní čelo
$A_{\gamma 2}$	[-]	druhé hlavní čelo
B	[mm]	šířka obráběné součásti
f	[mm]	posuv
f_z	[mm]	posuv na zub
i	[-]	počet záběrů
L	[mm]	celková dráha obrábění
l	[mm]	délka obráběné součásti
l_n	[mm]	délka náběhu
l_p	[mm]	délka přeběhu
\varnothing	[mm]	průměr
P_f	[-]	nástrojová boční rovina
P_n	[-]	normálová rovina ostří
P_o	[-]	nástrojová ortogonální rovina
P_p	[-]	nástrojová zadní rovina
P_r	[-]	nástrojová základní rovina
P_s	[-]	nástrojová rovina ostří
Q	$\left[\frac{cm^3}{min}\right]$	výkonnost obrábění
R_a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
R_z	[μm]	největší výška profilu

r_{ε}	[mm]	rádus špičky hlavního ostří
s	[-]	hlavní ostří
s'	[-]	vedlejší ostří
t_{AC}	[min]	jednotkový čas
t_{AS}	[min]	strojní čas
v_c	[μ m]	řezná rychlost
z	[-]	počet zubů frézy
α	[°]	úhel hřbetu
β	[°]	úhel bříty
γ	[°]	úhel čela
γ_o	[°]	nástrojový úhel čela v ortogonální rovině
λ_s	[°]	nástrojový úhel sklonu hlavního ostří
χ_r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
χ_r'	[°]	úhel nastavení vedlejšího ostří
ε_r	[°]	úhel špičky hlavního ostří

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres sestavení soustružnického nože SCLCR 0808 D06
Příloha 2	Výkres těla soustružnického nože SCLCR 0808 D06
Příloha 3	Výkres upínacího šroubu M2,5x6,3
Příloha 4	Výkres sestavení soustružnického nože SVGCR 0808 K07
Příloha 5	Výkres těla soustružnického nože SVGCR 0808 K07
Příloha 6	Výkres upínacího šroubu M2x6,3
Příloha 7	Výkres sestavení soustružnického zapichovacího nože SGAFR 8-1.2-D18
Příloha 8	Výkres těla soustružnického zapichovacího nože SGAFR 8-1.2-D18
Příloha 9	Výkres vyrážecí páky k zapichovacímu noži SGAFR 8-1.2-D18